



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## HYBRIDNÍ POHONY V KONSTRUKCI TRAKTORŮ

HYBRID DRIVES IN THE TRACTOR CONSTRUCTION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Líčeník

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Prokop, Ph.D.

BRNO 2019

# **Zadání bakalářské práce**

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Adam Ličeník**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Prokop, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Hybridní pohony v konstrukci traktorů**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Bakalářská práce je zaměřena na shromáždění informací v oblasti užití hybridních pohonů v konstrukci traktorů, a to jak z hlediska funkcionality pojezdu, tak pohonu agregací.

### **Cíle bakalářské práce:**

Rešerše použitých přístupů z hlediska konstrukčních variant a funkcionality.

Rozdělení jednotlivých přístupů dle zvolených kritérií.

Zhodnocení jednotlivých variant z hlediska emisí a ekonomičnosti provozu.

### **Seznam doporučené literatury:**

BAUER, František, a kolektiv. Traktory. 1.vyd. Praha: Profi Press, 2006. 192 s. ISBN 80-86726-15-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce zpracovává přehled typů hybridních pohonů v konstrukci traktorů. Zhodnocuje jejich funkční výhody i nevýhody a uvádí příklady některých traktorů a jejich součástí. Zaměřuje se na komponenty používané v hybridních pohonech. V závěru jsou zhodnoceny jednotlivé varianty z hlediska emisí a ekonomičnosti provozu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

hybridní traktor, traktor, hybridní pohon, akumulátor, palivové články, setrvačník, superkondenzátor, rekuperace

## ABSTRACT

This bachelor's thesis utilizes survey of types hybrid propulsion systems in the tractor construction. It evaluates its operational advantages and disadvantages and presents examples of some tractors and its elements. The thesis focuses on components which are used in hybrid propulsion systems. In the conclusion there is a review of individual variations in terms of emission and economy of operation.

## KEYWORDS

hybrid tractor, tractor, hybrid drive, battery, fuel cell, flywheel, supercapacitor, regenerative braking

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LÍČENÍK, A. *Hybridní pohony v konstrukci traktorů*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Aleš Prokop.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Aleše Prokopa, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Adam Líčeník

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Aleši Prokopovi, Ph.D., za jeho pomoc a cenné rady při zpracování. Dále bych chtěl poděkovat svojí rodině, která mi studium na vysoké škole umožnila.

## OBSAH

Úvod .....	9
1 Historie .....	10
2 Princip činnosti hybridního pohonu .....	12
2.1 Definice hybridního pohonu .....	12
2.2 Rozdělení hybridních pohonů podle koncepce uspořádání .....	14
2.2.1 Sériové uspořádání .....	14
2.2.2 Paralelní uspořádání .....	16
2.2.3 Kombinované uspořádání .....	18
2.3 Rozdělení hybridních pohonů podle míry hybridizace .....	20
2.3.1 Micro hybrid .....	20
2.3.2 Mild hybrid .....	20
2.3.3 Full hybrid .....	20
2.3.4 Plug-in hybrid .....	21
3 Elektrifikace traktorů .....	22
3.1 Mild Hybrid koncept .....	22
3.2 Full Hybrid koncept .....	23
3.3 Full Electric koncept .....	25
3.3.1 Elektrifikace konvenčních traktorů .....	27
4 Hlavní komponenty .....	28
4.1 Spalovací motory .....	28
4.2 Elektromotory .....	28
4.3 Zásobníky energie .....	30
4.3.1 Elektrický akumulátor .....	31
4.3.2 Vysoko energetický kondenzátor-superkondenzátor .....	33
4.3.3 Hydrostatický akumulátor energie .....	33
4.3.4 Mechanický akumulátor energie-setrvačnický .....	34
5 Hybridy s palivovými články .....	35
6 Zhodnocení .....	39
6.1 Ekonomické zhodnocení .....	39
6.2 Zhodnocení z hlediska emisí .....	40
Závěr .....	42
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	47



## ÚVOD

Traktory pracují především v polích vzdálených od hustě osídlených oblastí a jejich hlavním úkolem je vyvinutí tahové síly a velkého točivého momentu při nízkých rychlostech. Aby byla zajištěna pracovní kvalita, lidé velmi často ignorují spotřebu paliva a emise. Spolu s rostoucím počtem traktorů a vývojem tohoto odvětví, otázka životního prostředí, se stává čím dál důležitější než kdy předtím. Snižující se světová zásoba ropy a vymezující předpisy a směrnice omezující vypouštění škodlivých emisí z výfuku, dávají do popředí zájmů alternativní a hybridní pohony. Alternativním pohonem se myslí použití jiného paliva, než je stávající ropa. Hybridní pohon nabízí přechodné řešení s využitím dvou nezávislých zdrojů energie. Hybridní pohon traktorů umožňuje optimální práci s palivem v oblasti řízení výstupního kroutícího momentu spalovacího motoru. Díky čemuž lze dosáhnout úspor paliva a snížit objem vypouštěných škodlivých látek.

# 1 HISTORIE

Hybridní pohon není tolik novým slovem, jak by se mohlo na první pohled zdát. Myšlenka hybridního pohonu byla vyslovena již na počátcích automobilismu. Na konci 19. století nebyla upevněna myšlenka na to, že vozidlo musí pohánět spalovací motor. Proto vynálezci zkoušeli řadu způsobů, jak by mohla být vozidla poháněna, včetně elektřiny, fosilních paliv, páry a kombinací těchto věcí [1]. První hybridní vozidlo pravděpodobně postavil Dr. Ferdinand Porsche v Německu roku 1898. Ten použil spalovací motor k roztáčení generátoru, který poskytoval proud elektrickým motorům umístěných v nábojích kol [2]. První impulz pro použití hybridní technologie v traktorech pochází z roku 1959. Kdy pan Allis Chalmers využil podvozku traktoru D-12 k tomu, aby postavil první prototyp hybridního traktoru. Traktor má zdroj energie ve formě palivových článků, které vytvářejí elektrický proud pro pohon elektromotoru. Celkově traktor obsahuje 1008 palivových článků, které díky chemické reakci mezi propanem a vodíkem vytváří v palivových článcích elektrický proud. Ten následně pohání elektromotor o výkonu 15 kW. Traktor se dochoval a je možné ho stále vidět ve Smithsonianově institutu se sídlem ve Washingtonu [3]. Zajímavostí je, že prvotní použití palivového článku v konstrukci motorových vozidel je právě u traktoru [4].



*Obr. 1 Allis-Chalmersův hybridní traktor [3]*

Nicméně hybridní technologie se v prvopočátcích nesetkala s úspěchem. Dobře to lze pozorovat na amerických firmách Baker of Cleveland a Woods of Chicago. Obě firmy nabízely elektrické a hybridní vozy. Avšak hybridní a elektrická vozidla byla dražší než vozidla se spalovacím motorem. Lidé o ně neměli zájem a prodej stál.

Hlavní příčiny vedoucí k zániku těchto pohonů souvisely s vysokou cenou použitých akumulátorů, a také nižší výkon oproti vozidlům se spalovacím motorem. U elektrických vozidel byl hlavním problémem omezený dojezd a doba nabití akumulátorů. Hybridní pohon spolu s elektrickým pohonem postupně vymizely.

Důvody pro návrat těchto technologií představují omezené zásoby fosilních paliv a produkce škodlivých emisí. Proto se tato technologie nezavádí jen do automobilů, ale i do ostatních vozidel jakou jsou traktory [2].

## 2 PRINCIP ČINNOSTI HYBRIDNÍHO POHONU

V následující kapitole bude vysvětlen princip činnosti hybridního pohonu. Kapitola je zaměřena na nejrozšířenější druh hybridního pohonu. Jedná se o kombinaci spalovacího motoru s elektromotorem [5].

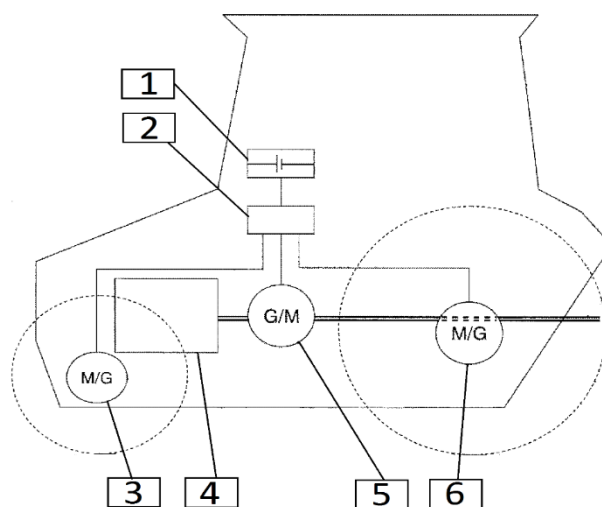
### 2.1 DEFINICE HYBRIDNÍHO POHONU

Hybridní pohonné ústrojí je spojení několika zdrojů pohonu vozidla. Volí se takové spojení systémů pohonů, které účelně kombinuje výhody jednotlivých trakcí při rozdílných provozních stavech [5].

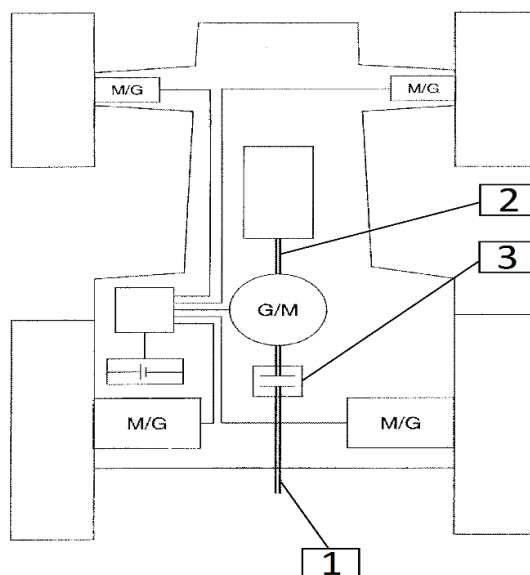
V podstatě základní náplní jakéhokoli vozidla je pohon. Hybridní trakce u traktorů využívá nejčastěji různorodé konstrukční řešení s diesel-elektrickými motory, sloužící jako spouštěče spalovacího motoru pro provoz elektrického generátoru.

Hybridní technologie je hojně využívána v silniční a železniční dopravě. Použití hybridního pohonu v konstrukci traktorů není ještě tak rozšířené jako u automobilů nebo vlaků, ale to je otázkou budoucnosti. V současnosti existují série prototypů, kde je vznětový motor kombinován s elektromotorem, který doplňuje spalovací motor a dodává mu v případě potřeby energii. Naopak pokud je odporová zátěž nízká, energie produkovaná spalovacím motorem je uložena v akumulátorech. Důvodem proč se zavádí hybridní technologie je nízká spotřeba fosilních paliv, a protože spalovací motor při použití této technologie pracuje jen v optimálních podmínkách, při kterých dodává maximální výkon.

Použití hybridního pohonu vede ke zjednodušení mechanických částí traktoru, například diferenciály ustupují do pozadí a už nejsou nutné [6]. Naproti tomu se zvyšuje složitost hybridních součástí traktoru. Kromě komponentů pro spalovací a elektrické motory je třeba vzít v úvahu potřebné systémy pro vzájemnou spolupráci dvou zdrojů energie. Komponenty musí být koordinovány prostřednictvím řídicí jednotky [7].



Obr. 2 Patentní rozvržení komponent hybridního traktoru z roku 2017 (firma AGCO) [8]; 1 – akumulátor; 2 – řídicí jednotka; 3 – pohon přední nápravy elektromotorem /generátorem; 4 – spalovací motor; 5 – elektromotor/generátor řízený spalovacím motorem vytvářející elektrickou energii; 6 – pohon zadní nápravy elektromotorem/generátorem



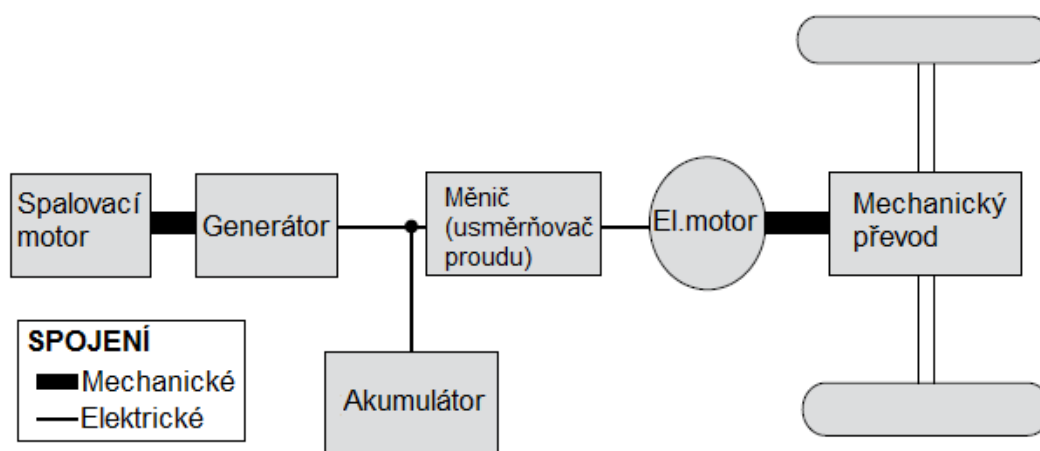
Obr. 3 Pohled shora na schématické rozvržení komponent hybridního traktoru z roku 2017 (firma AGCO) [8]; 1 – PTO; 2 – hnací hřídel; 3 – PTO spojka

## 2.2 ROZDĚLENÍ HYBRIDNÍCH POHONŮ PODLE KONCEPCE USPOŘÁDÁNÍ

Hybridní elektrický pohon může být rozdělen do tří druhů podle dodávky výkonu. Jedná se o sériové uspořádání, paralelní uspořádání a kombinované uspořádání. Jednotlivá uspořádání v sobě zahrnují výhody a nevýhody. Volí se, proto takové uspořádání, které maximálně pokryje nároky druhu a použití vozidla v závislosti na interakci jednotlivých komponent [9].

### 2.2.1 SÉRIOVÉ USPOŘÁDÁNÍ

U sériového uspořádání je náprava poháněna výhradně elektrickým motorem. Spalovací motor slouží k pohonu druhého elektromotoru, který funguje jako generátor. Generátor následně vzniklým elektrickým proudem roztáčí trakční elektromotor. Generátor navíc slouží k rekuperaci kinetické energie při zastavování traktoru, čímž dobíjí akumulátory. Mechanické spojení zaručuje, že spalovací motor je možné provozovat jen za určitých otáček, tak aby bylo dosaženo optimálního režimu chodu s nejvyšší účinností. Nedochozí k tomu, že motor pracuje na nevhodných bodech pracovní charakteristiky. Zřídka je spalovací motor nahrazován plynovou turbínou. Název je odvozen z uspořádání jednotlivých komponent za sebe, jako lze vidět na Obr. 4 [10].



ale požadavek na výkon vozidla zabraňuje vypnutí spalovacího motoru a pohonu pouze na akumulátor [2].

V hybridní traktorové technice se využívají různé druhy elektromotorů, často umístěné přímo na nábojích kol, které pohání samotný traktor. A také na pomocné hřídeli (PTO), sloužící pro pohon agregací. Souvislý provoz elektromotorů/generátorů takto umístěných je srovnatelný s běžnou převodovkou s plynulou změnou převodu (CVT). Také dosažený výkon je srovnatelný s jednoduššími mechanickými převody. Díky umístění motorů na každém kole je možné individuální řízení každého kola. Díky tomu dochází k lepší manévrovatelnosti, například při otáčení na souvratích [11].

### **Zhodnocení sériové varianty**

#### **Výhody:**

- Spalovací motor pracuje jen v optimálních otáčkách. Hledá se kompromis mezi účinností a nízkou hladinou emisí.
- Řízení toku energie. Při přebytku výstupní energie je zbytková energie dodána do akumulátorů.
- Mezi motorem a hnanými koly není žádné mechanické spojení, protože elektromotor je napájen pouze kabelem.
- Jednoduchost struktury.

#### **Nevýhody:**

- Vícenásobná přeměna energie související se ztrátami účinnosti. Počáteční energie mění dvakrát svoji formu, než dosáhne cíle (mechanická na elektrickou v generátoru a elektrická na mechanickou v trakčním motoru). Vzhledem k nabitým akumulátorům je účinnost mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou pouze 55 %.
- Potřeba dvou elektromotorů. Jeden pracuje jako generátor a druhý slouží k trakci. Trakční motor musí být řádně dimenzován, aby produkoval dostatek energie pro optimální výkon vozidla ve všech situacích.

### **RigiTrac EWD 120 - Diesel Electric tractor**

RigiTrac EWD 120 je hybridní svahový traktor se sériovým uspořádáním komponent. Vznikl jako projekt Technické univerzity v Drážďanech. Projekt je založen na přestavbě původního konvenčního traktoru na hybridní. Traktor má na každém kole elektromotor o výkonu 33 kW (45 koní). Elektromotory jsou regulovány individuálně. To umožňuje nastavení točivého

momentu pro každé kolo zvlášť. Výkonová elektronika upravuje výkon a přenos energie čímž zabraňuje prokluzu kol. Elektřina pro elektromotory je dodávána z generátoru o výkonu 85 kW, poháněného přímo vznětovým motorem o výkonu 91 kW (124 koní). Vznětový motor pracuje jen v ideálním rozsahu otáček. Takový elektrický systém má větší energetickou účinnost než původní nepřestavěný RigiTrac. Traktor má v rámu zakomponovaný centrální otočný kloub, který umožňuje nezávislé natočení přední a zadní část při jízdě ve svahu. Stroj má trvalý pohon všech čtyř kol s možnostmi řízení přední nápravy, obou náprav anebo tzv. krabí (stranový chod). Maximální rychlost je 65 km/h [12].



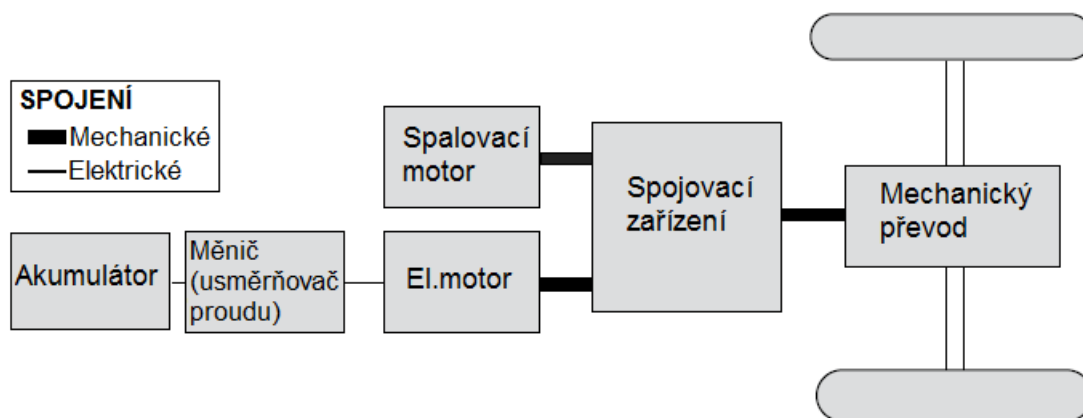
*Obr. 5 RigiTrac 120 Hybrid s elektromotory na každém kole, stator(oranžový), rotor(modrý) [12]*

### 2.2.2 PARALELNÍ USPOŘÁDÁNÍ

U paralelního uspořádání je náprava poháněna spalovacím motorem a elektromotorem zároveň, anebo každým motorem zvlášť. Motory jsou spojeny hřídelem a konečný výkon je dán součtem jejich aktuálních výkonů. Paralelní uspořádání má vysokou provozní flexibilitu, která umožňuje tři režimy provozu. Pohon čistě na spalovací motor, čistě na elektrický pohon a hybridní. Obvykle jsou paralelní hybridy provozovány v čistě elektrickém režimu při nízkých zatíženích, dokud stav hloubky vybití akumulátorů přesáhne hranici 30 % [13]. Při využití jen jednoho motoru, druhý rotuje zároveň s druhým, aniž by dodával výkon, například při volnoběhu. Nebo také může být odepnut přes spojku. Spojení s koly je realizováno přes mechanickou převodovku. I zde jde elektromotor použít jako generátor a přeměňuje



kinetickou energii na elektrickou energii a ukládá ji do akumulátoru. To se děje v případě, že výkon spalovacího motoru dokáže pokrýt požadovaný výstupní výkon a přebytečná energie z elektromotoru se použije k nabíjení. Paralelně uspořádaný pohon lze vidět na Obr. 6 [10].



Obr. 6 Schéma paralelního uspořádání [2]

## Zhodnocení paralelní varianty

### Výhody:

- Jak spalovací, tak elektrický motor dodávají výkon poháněné nápravě současně a nedochází zde k vícenásobné přeměně energie, tudíž je účinnost vyšší než u sériového uspořádání.
- Je kompaktnější, protože má jen jeden elektromotor, který zároveň funguje jako generátor. Navíc elektromotor je menší než v sériovém uspořádání.

### Nevýhody:

- Mechanické spojení mezi motory a hnanou nápravou.
- Propracovanější struktura, vyžadující složitější řídicí systém.
- Nižší výkon při použití pohonu čistě na elektřinu.

## Carraro Ibrido

Carraro Ibrido je italský hybridní traktor představený na mezinárodním veletrhu EIMA v roce 2018. Tento stroj může pracovat s čistě elektrickým nebo diesel-elektrickým paralelním pohonem. Diesellový motor je tříválcový Deutz Tdc 2,2 upravený na výkon 55 kW (75 koní). Elektromotor má výkon 20 kW (27 koní) a je připojen k lithium-železo-fosfátovému akumulátoru. Obsluha traktoru si může vybrat jeden ze tří režimů, který hybridní traktor nabízí. Pohon čistě na elektřinu se využije v uzavřených halách, ve sklenících a při krmení

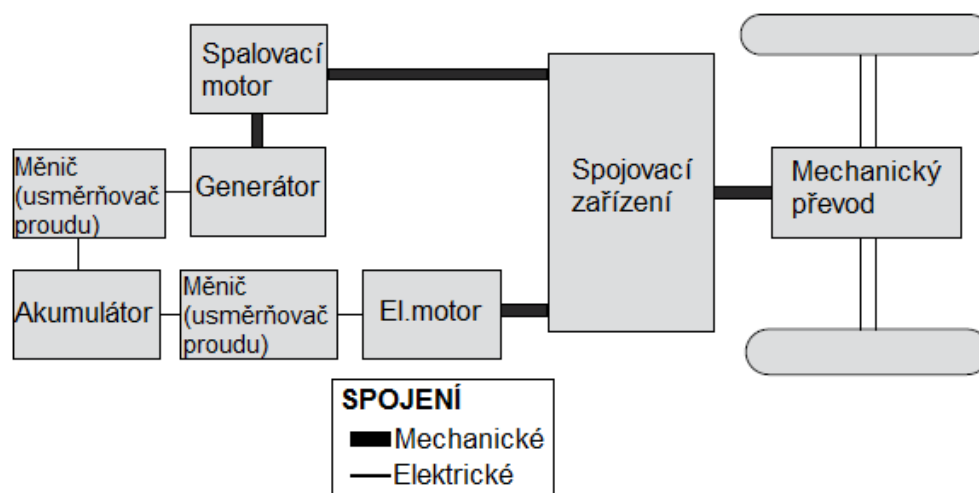
dobytka. Pohon pouze spalovacím motorem se využije pro jízdu po silnici nebo pro nesení těžkých břemen. Hybridní pohon se zapíná při vlečení nebo přepravě břemen, nebo pro běžný provoz PTO. Systém má pozitivní ekonomický dopad. Sníží se spotřeba paliva, klesnou náklady na údržbu v důsledku menšího namáhání spalovacího motoru. V plně elektrickém režimu klesnou emise na nulu a sníží se hladina hluku a vibrací [14].



*Obr. 6 Carraro Hybrid veletrh EIMA 2018 [14]*

### 2.2.3 KOMBINOVANÉ USPOŘÁDÁNÍ

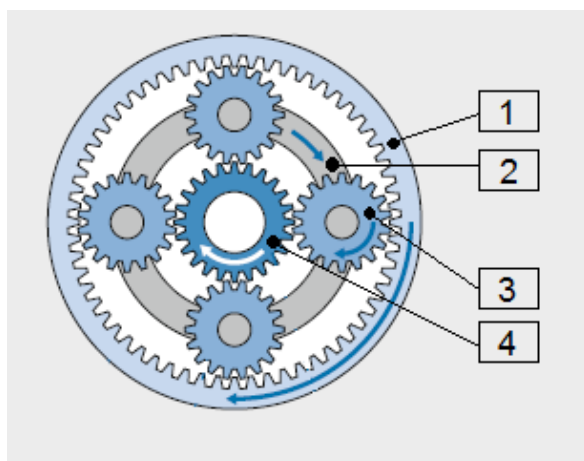
Hybridní elektrický systém se původně vyvinul ve dvou uspořádáních. Avšak rozvoj této technologie dal vzniknout kombinovanému uspořádání, které vyzdvihuje výhody sériové a paralelní konfigurace na úkor zvýšení mechanické složitosti. Kombinované uspořádání obsahuje navíc dělič výkonu. Děličem výkonu se nejčastěji myslí planetová převodovka známá jako CVT. Ta optimálně rozděluje část výkonu na mechanickou a elektrickou složku. Poměr rozdělení se v průběhu zatížení mění. Elektrická cesta se použije při nižších výkonech a mechanická cesta při vyšších výkonech. Druhým možným způsobem, jak rozdělit výkon, je použití spojky. Při požadavku vysokého výkonu je spojka sepnuta a vozidlo má charakter paralelního uspořádání. Naopak při nízkém výkonu je spojka rozpojena a pohon je v sériové konfiguraci. Systém tak dosahuje efektivního šetření paliva při nízkých a středních zatíženích, ale ne při vysokých zatíženích, kde motor běží přes mechanickou dráhu [15].



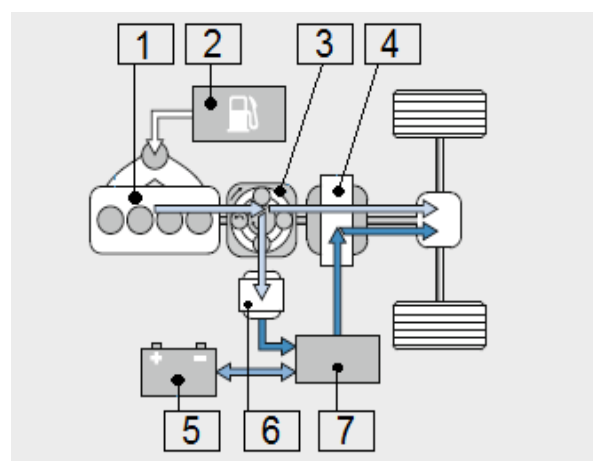
Obr. 7 Schéma kombinovaného uspořádání [2]

### Planetová převodovka

Výkon spalovacího motoru je v planetovém soukolí rozložen na složku, která pohání nápravu traktoru, a na složku pohánějící generátor. Planetové soukolí je složeno z korunového kola, satelitů, unašeče satelitů a centrálního kola [15]. K unašeči satelitů je připojen spalovací motor a k centrálnímu kolu generátor. Rychlost a výkon traktoru udává korunové kolo které je přímo připojeno k diferenciálu a pohání nápravu. Otáčky korunového kola jsou řízeny souhrou zbylých komponentů planetového soukolí [16].



Obr. 8 Planetové soukolí [15]; 1 – korunové kolo; 2 – unašeč satelitů; 3 – satelit; 4 – centrální kolo



Obr. 9 Schéma uspořádání s planetovým soukolím [15]; 1 – spalovací motor; 2 – palivo; 3 – planetové soukolí; 4 – elektromotor; 5 – akumulátor; 6 – generátor; 7 – měnič (usměrňovač proudu)

## Zhodnocení kombinované varianty

### Výhody:

- Optimální řízení spalovacího motoru, jenž má dobrý vliv na spotřebu paliva a vypouštění škodlivých látek do ovzduší.
- Planetová převodovka funguje jako CVT (plynule měnitelný převod), což eliminuje potřebu manuální nebo automatické převodky.

### Nevýhody:

- Komponenty navíc které zvyšují cenu oproti sériovému nebo paralelnímu uspořádání.
- Složitost systému.

## 2.3 ROZDĚLENÍ HYBRIDNÍCH POHONŮ PODLE MÍRY HYBRIDIZACE.

Stupeň hybridizace určuje, do jaké míry je distribuce pohonu rozčleněna mezi spalovací motor a elektromotor. Druhy hybridů se v jádru liší výkonem elektromotoru či eventuálně množstvím elektrické složky podílející se na celkovém výkonu. Rovněž se odlišují kapacitou elektrických akumulátorů [15].

### 2.3.1 MICRO HYBRID

Vozidla takto označované nejsou ve skutečnosti hybridem. Jsou pouze vybavena start-stop systémem, který vypíná motor při zastavení. Opětovné spuštění spalovacího motoru má za úkol takzvaný reverzibilní alternátor. Ten dokáže rekuperovat brzdovou energii. Elektrická energie takto vzniklá neslouží k pohonu vozidla, nýbrž k opětovnému startu vozidla. Ale lze díky tomu dosáhnout úspor paliva a snížení emisí [17].

### 2.3.2 MILD HYBRID

Elektromotor spolu s akumulátorem fungují jako podporné systémy a doplňují spalovací motor. Z toho důvodu lze vybavit vozidlo menším a úspornějším spalovacím motorem. V případě potřeby velkého výkonu a při rozjíždění doplní elektromotor spalovací motor, čímž mu poskytne potřebný výkon [18]. Elektromotor je schopný fungovat jako generátor a při brzdění dokáže rekuperovat energii. Tu následně ukládá do akumulátorů. Nicméně není možné, aby elektromotor poháněl celé vozidlo [19].

### 2.3.3 FULL HYBRID

Takto se označují vozidla, která jsou schopna jet čistě na elektrický pohon, nebo mohou kombinovat oba dva způsoby pohonu. Z toho důvodu jsou vybaveny děličem výkonu [10].

### 2.3.4 PLUG-IN HYBRID

Představují skupinu vozidel v nejvyšší mírou hybridizace. Jsou vybaveny akumulátory, které se mohou dobít z elektrické sítě. Z toho důvodu jsou opatřeny zásuvkami, a pomocí kabelů se dají připojit k dobíjecím stanicím, když motor neběží. Při jízdě dochází k rekuperaci brzděné energie a tím k dobíjení akumulátoru. Při vybití akumulátorů během jízdy se nastartuje spalovací motor, který pohání vozidlo a dobíjí akumulátory [19].



*Obr. 10 Plug-in John Deere [20]*

### 3 ELEKTRIFIKACE TRAKTORŮ

Hybridy jsou mezičlánkem k úplné elektrifikaci. Záměna konvenčních spalovacích motorů za elektrické s akumulátory je čím dál tím více důležitější v technologii užitkových vozidel. Nejpoužívanější koncepcí je náhrada spalovacího motoru za motor elektrický bez ovlivnění struktury vozidla. Krom traktorů je tomu například u samojízdných strojů, kolových nakladačů a vysokozdvížných vozíků.

Kromě praktických konstrukčních variant je nutné se zabývat ochranou životního prostředí v závislosti na předpokládaném použití vozidla. Jsou zavedeny emisní normy, které omezují vypouštění škodlivých látek do ovzduší, a proto existuje velký potenciál pro elektrifikaci. Ta je rozdělena do tří hlavních kroků.



Obr. 11 Kroky postupné elektrifikace [18]

#### 3.1 MILD HYBRID KONCEPT

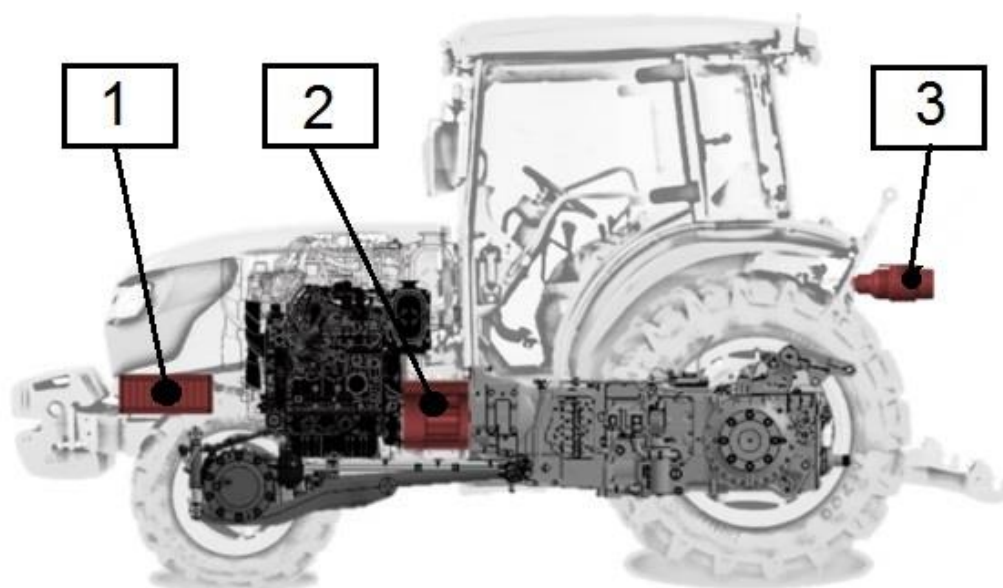
Hlavní koncepcí Mild Hybridů je snížení výkonu motoru s vnitřním spalováním. Použití takového systému se zavádí u traktorů nižší výkonnostní třídy. Od roku 2014 jsou traktory vyšších výkonnostních tříd omezeny evropskou úrovní emisí 4. K tomu jim dopomáhá například technologie selektivní katalytické redukce (SCR), umožňující snížit emise výfukových plynů vznětových motorů. Nicméně traktory nižší výkonnostní třídy T2 jsou omezeny pouze úrovní emisí 3B. Třída T2 zahrnuje například sadařské a vinařské traktory.

V roce 2022 dojde k aktualizaci emisních limitů. Zavede se emisní úroveň 5, která zpřísní limitní hodnoty. Do povšimnutí se dostává zmiňovaná třída T2 s výkonem nižším než 56 kW, neboť se v tomto výkonovém rozsahu nerozlišují uhlovodíky a oxidy dusíku.

Očekávané je použití filtru pevných částic a oxidačního katalyzátoru, avšak další SCR se nevyžaduje. Vzniklá skutečnost oslovuje traktory s výkonem převyšujícím 56 kW, a to snížením výkonu pod hranici 56 kW a zbývající výkon doplnit elektromotorem souběžně se vznětovým motorem, jak lze vidět na Obr. 12.



Redukce vznětového motoru poskytne prostor pod kapotou pro elektromotor, akumulátor a výkonovou elektroniku. Díky tomu nedojde ke změně konstrukce traktoru.



*Obr. 12 Předpokládané rozvržení komponent u Mild-Hybrid konceptu [18]; 1 – akumulátor; 2 – elektromotor/generátor; 3 – elektromotor pro pohon hydrauliky*

Konfigurace komponent nevyžaduje velkokapacitní akumulátor. Získávání energie akumulátoru je realizováno při nižších zatíženích vznětového motoru a rekuperativním brzděním. Při sjezdu z dlouhých kopců, například ve vinařských oblastech, dochází k rekuperativnímu brzdění, čímž se navíc méně opotřebovávají brzdy traktoru. Při vyšších zatíženích, kdy je potřeba výkonu vyššího než 56 kW, dochází k přeměně energie z akumulátoru do systému přes elektromotor. Díky tomu nedojde k žádným funkčním nevýhodám ve srovnání s běžným traktorem.

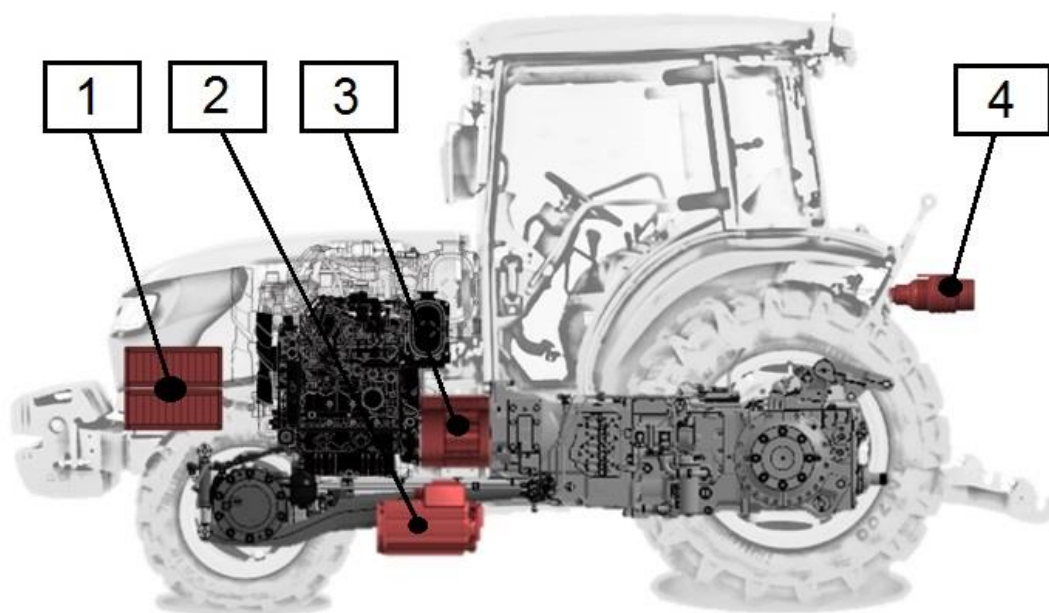
Traktory této nižší výkonnostní třídy jsou k tomuto konceptu velmi vhodné, protože pracovat v nepřetržitém plném zatížení je u nich spíše výjimkou. Pomocné pohony nejsou řízeny otáčkami vznětového motoru, ale jsou řízeny v závislosti na zatížení motoru. Díky tomu je celková účinnost optimalizována.

Mezi hybridní funkce patří zvýšení výkonu při vyšších zatíženích, malé opotřebení brzd díky rekuperaci.

### 3.2 FULL HYBRID KONCEPT

Doplněním dalších komponentů Mild Hybridu vede k přechodu na Full Hybrid. Předpokladem je doplnění dalších modulů akumulátorů a zvýšení jejich kapacit, aby dokázaly pokrýt vysoké výkony. Taková koncepce systému umožňuje přidavné funkce, jako je

krátkodobý provoz čistě jen na elektřinu. Ten se využije při operacích traktoru v uzavřených halách, krmení dobytka, nebo při skladování. Vznětový motor je deaktivován a traktor je přepnut na pohon bez emisí. V závislosti na této funkci může být systém doplněn elektromotorem, který může splňovat funkci plně elektrického pohonu přední nápravy.



*Obr. 13 Předpokládané rozvržení komponent u Full-Hybrid konceptu [18]; 1 – akumulátory; 2 – elektromotor pohánějící nápravy; 3 – elektromotor/generátor; 4 – elektromotor pro pohon hydrauliky*

Toto vložení další samostatné pohonné jednotky umožňuje krom pohonu pouze na energii z akumulátoru další funkce. Může fungovat jako generátor napříč oběma pohony náprav.

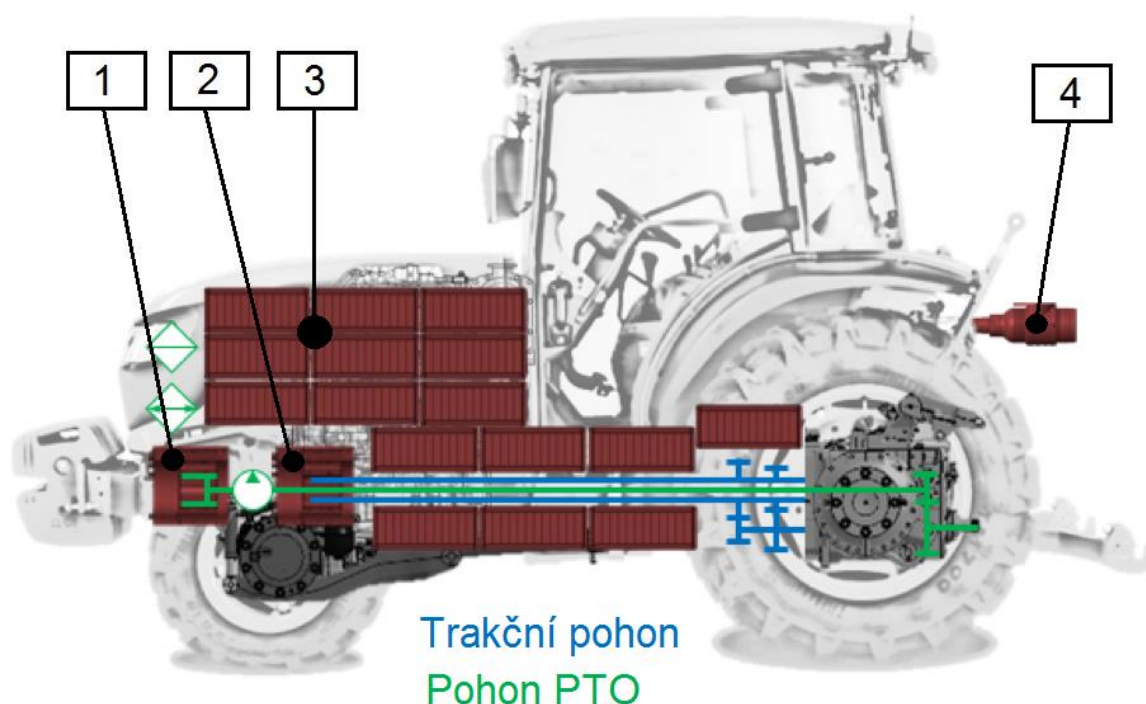
Pro řazení rychlostí se používají automatické a manuální převodovky. Pro oba druhy převodovek je doba při řazení, během které dojde k rozpojení mechanické části pohonu, udržována prostřednictvím paralelního elektromotoru, umístěného v blízkosti vznětového motoru. Pro tento účel může být energie generována ze vznětového motoru nebo z akumulátorů. Taková funkce se zavádí, aby bylo dosaženo plynulé jízdy a díky tomu také jízdnímu komfortu.

Zvýšená kapacita akumulátorů umožňuje stacionární napájení elektrických zařízení při vypnutém motoru, anebo plní funkci nouzového generátoru.



### 3.3 FULL ELECTRIC KONCEPT

K realizaci Full Electric konceptu přistoupila firma Fendt a Escort tak, že komponenty existujícího traktoru byly jeden po druhém nahrazovány. Vznětový motor za elektromotor s odpovídajícím výkonem, akumulátory a výkonovou elektronikou.



Obr. 14 Předpokládané rozvržení komponent u Full-Electric konceptu [18]; 1- elektromotor pro pohon PTO; 2 – elektromotor pohánějící nápravy (plní navíc funkci převodovky); 3 – spalovací motor nahrazen akumulátory; 4 – elektromotor pro pohon hydrauliky

Elektromotor je připojen ke stejné převodovce jako je tomu v traktoru se vznětovým motorem, tudíž je elektromotor podporován převodovým poměrem. Ačkoli převodovka může být nahrazena příslušným elektromotorem, je třeba vzít v úvahu, že funkcí převodovky není jen přenášet hnací sílu. V traktorech skříní převodovky představuje nosný prvek pro ostatní subsystémy jako je přední a zadní náprava a kabina. Vynechání převodovky na úkor akumulátorů je zobrazeno na Obr. 14. Vhodným řešením je podpořit systém dvoustupňovou převodovkou umístěnou mezi elektromotorem a zadní nápravou.

Nezávisle na hlavním pohonu traktoru pohání malý elektromotor hydraulické čerpadlo a vývodový hřídel (PTO). Lze je ovládat nezávisle na rychlosti traktoru v jejich ideálním rozsahu otáček.

Velké množství akumulátorů umístěných převážně v přední části způsobuje posunutí těžiště a nerovnoměrné zatížení kol. Tato skutečnost negativně ovlivňuje manipulaci a předpětí

traktoru. Vyrovnání těžiště se kompenzuje umístěním akumulátoru mezi nápravy a lehčí komponenty, například hydraulické jednotky jsou umístěny v přední části. Avšak všechny tyto kompenzace celoelektrického traktoru na základě existujícího traktoru nejsou sladěny [18].

### John Deere SESAM

John Deere předvedl v roce 2017 na veletrhu SIMA v Paříži prototyp plně elektrického traktoru založeného na podvozku traktoru řady 6R. Vznětový motor byl nahrazen lithium-iontovými akumulátory, poskytující energii dvou elektromotorům, které mohou jednotlivě dodávat výkon 130 kW (174 koní). Při běžném provozu převezme funkci pohonu pouze jeden elektromotor a druhý pohání vývodový hřídel a hydraulické čerpadlo. V případě vyššího zatížení jsou oba elektromotory propojeny a poskytují plný výkon 300 kW (402 koní) [21]. Nabité akumulátory dokáží poskytnout energii pro 4 hodiny provozu anebo na ně má traktor ujet 55 km po silnici. Doba nabíjení trvá 3 hodiny a předpokládaná životnost je 3100 nabíjecích cyklů. Traktor pracuje s nulovými emisemi a s nízkou hladinou hluku, což je výhodou při nočních pracích v blízkosti obytných oblastí [22].



*Obr. 15 John Deere SESAM [23]*

### 3.3.1 ELEKTRIFIKACE KONVENČNÍCH TRAKTORŮ

U konvenčních traktorů, kde nelze pokrýt poptávku elektrické energie jakou poskytují elektrické a diesel-elektrické traktory, lze použít pro pohon agregací a mobilních zařízení, externí generátor, který je umístěn vpředu traktoru. Generátor je poháněn vývodovým hřídelem. Generátor umožňuje provoz elektrifikovaných traktorů s výkonem do 100 kW [24].



*Obr. 16 Generátor GNK Walterscheid [25]*

## 4 HLAVNÍ KOMPONENTY

V této kapitole jsou popsány stěžejní komponenty hybridních traktorů. Tvoří důležité prvky, bez kterých by se hybridní pohon neobešel.

### 4.1 SPALOVACÍ MOTORY

Hybridní traktory využívají ke svému pohonu více zdrojů energie. Pokud se jedná o kombinaci diesel-elektrickou, je jedním z pohonů spalovací motor. „*Traktory v dnešní době mají výhradně vznětový spalovací motor. Jsou to pístové motory s vnitřním spalováním, u nichž se energie přenáší přes píst a ojnici na klikový hřídel*“ [26].

#### Vznětový motor

Vznětový motor má v porovnání se zážehovým motorem vyšší účinnost. Díky této účinnosti mohou dieselové hybridy dosáhnout vynikající spotřeby paliva. Nevýhodou motoru jsou vyšší emise, než má motor zážehový, a taky vibrace a hluk. Nicméně s dnešními technologiemi tomu lze zabránit. Vznětové motory mají navíc schopnost být provozovány na alternativní paliva jako je bionafta, rostlinné oleje, ethanol a jiné [19].

Traktory se používají hlavně v těžkých provozních podmínkách, což vede ke kolísání zatížení. Proto vznětový motor musí splňovat charakteristiky provozu traktoru. Jako je trvalý provoz při maximálním výkonu a práce motoru v rozsáhlém rozmezí otáček s konstantním výkonem. Nízká spotřeba paliva, vysoká spolehlivost, dlouhé servisní intervaly, startovatelnost v nízkých teplotách, vysoká životnost motoru. Agregát musí splňovat technické předpisy Evropské hospodářské komise, směrnice udávající stupeň plnění emisní úrovně a jejich použití na kategorii T. Krom emisí a kouřivosti vznětového motoru je to například hladina vnějšího hluku traktoru [26].

### 4.2 ELEKTROMOTORY

Elektromotory jsou druhým možným pohonem u diesel-elektrických traktorů. Elektromotor má u hybridních traktorů více možných způsobů použití. V první řadě pro trakci traktoru. Za druhé fungují jako generátory elektrického proudu, který je následně uchován v akumulátoru. Může jím být též nahrazena klasická převodovka. Volba typů závisí na použití elektromotoru. Pro trakční motory je důležitá hodnota momentu než hodnota výkonu. Na elektromotory jsou kladeny nároky ve smyslu spolehlivé konstrukce a v poskytování dostatečného výkonu v širokém rozsahu otáček, na kterých závisí účinnost elektromotoru. Nízká míra hluku, krátkodobá přetížitelnost, nízké náklady na údržbu a na pořízení. Základní rozdělení elektromotorů je na střídavé (AC) a stejnosměrné (DC).

Oba typy elektromotorů plní stejnou funkci, a to měnit elektrickou energii na mechanickou. Nejpodstatnějším rozdílem je zdroj energie. AC elektromotory jsou napájeny střídavým proudem a DC motory stejnosměrným proudem. Motory DC jsou převážně konstruovány

s kartáči a komutátorem. To snižuje jejich životnost, protože jsou náchylné k poruchám a musí být udržovány. To je taky důvodem, proč u hybridních vozidel AC motory vytlačují DC motory [10].

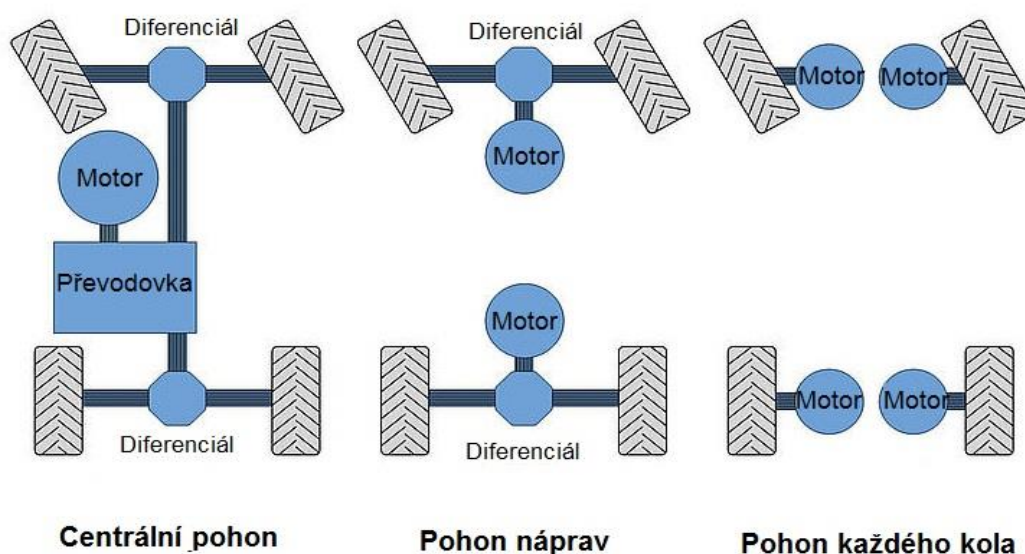
V následující tabulce jsou porovnány trakční elektromotory, používané v hybridních pohonech.

*Tab. 1 Porovnání trakčních elektromotorů používaných v hybridech (1- nejhorší, 10 – nejlepší) [10]*

Motor	Cena	Účinnost	Hmotnost	Přetížitelnost	Spolehlivost	Stav vývoje
Stejnoseměrný	10	7	6	10	7	10
Asynchronní	8	8	6	10	9	9
Synchronní	8	10	7	10	9	8
Transverzální	7	10	8	10	10	7
Řízený reluktační	9	6	7	10	9	5
Stejnoseměrný bez kartáčů	8	10	10	9	10	8

Elektromotory jsou většinou připojeny k centrálnímu mechanickému pohonu, který jim dodává energii. Použití elektromotorů umožňuje více konstrukčních řešení, protože elektromotor nepotřebuje hnací hřídele pro translaci energie. Zajímavé je řešení, ve kterém je na každém kole traktoru elektromotor. Takové spojení kol s karoserií traktoru je možné realizovat s větší mírou volnosti designu. Elektromotor je připojen pouze na kabelech, které ho napájí. Kromě toho je možná regulace rychlosti bez převodovky. Snižují se náklady na údržbu, protože nedochází k mechanickému přenosu a tím k opotřebení na hřídelích a spojích [12]. Takové řešení je ale spíše výjimkou. Při vynechání vícestupňové převodovky na úkor elektromotoru, roste hmotnost a zástavbová velikost elektromotoru. Navíc elektromotor musí mít vyšší výkon, aby pokryl nároky všech provozních situací [5]. Z tohoto důvodu je vhodné systém podpořit minimálně dvoustupňovou převodovkou mezi elektromotorem a nápravou [18]. Redukce počtu převodových stupňů je možná díky schopnosti přetížitelnosti elektromotorů [5].





Obr. 17 Schéma umístění elektromotorů [12]

### 4.3 ZÁSOBNÍKY ENERGIE

Slouží k uchovávání energie pro budoucí využití. V této kapitole jsou také rozebrány systémy úschovy jak elektrické, tak mechanické energie. Je vhodné v této kapitole taky zmínit systém rekuperace energie, která je jednou z výhod hybridních vozidel [10].

#### Rekuperace energie

K rekuperaci energie dochází při brzdění anebo při jízdě ze svahu. U nehybridních vozidel se používají k zastavení vozidla pouze brzdy, u kterých se kinetická energie přemění ve ztrátové teplo. U hybridních vozidel jsou komponenty, které dokáží přeměnit kinetickou energii na další využitelnou energii [27]. Za účelem rekuperace kinetické energie z kol vozidla se použije elektromotor, fungující jako generátor, který ji přemění v elektrickou. Ta je následně převedena a uschována v akumulátoru. Zároveň elektromotor pomáhá při brzdění vozidla. Pro výkonné využití hybridního systému je nutné efektivně nabíjet akumulátor. K dispozici musí být dostatečná energie při častém vypínání a spouštění spalovacího motoru (start/stop). A také při krátkodobém provozu pouze na elektřinu, jako je tomu možné u paralelního hybridu. Při velkých zatíženích a při akceleraci se energie určená pro nabíjení akumulátoru vhodně použije pro provoz a podporu elektromotoru [15].

#### 4.3.1 ELEKTRICKÝ AKUMULÁTOR

Principem akumulátoru je měnit chemickou energii na elektrickou. Dvě elektrody, anoda a katoda jsou ponořeny do kapaliny nebo do pevné látky (elektrolytu), obsahující elektricky nabitě částice. Díky tomu je zajištěno vodivé spojení mezi elektrodami. Rozdílný potenciál mezi elektrodami a elektrolytem vede ke vzniku napětí na elektrodách. V galvanickém článku je proudový okruh uzavřen pohybem iontů, které tečou elektrolytem z elektrody s malým potenciálem na elektrodu s vyšším potenciálem. Proud protéká, dokud se nevyčerpají všechny ionty z roztoku [10].

Množství elektrické energie, kterou je akumulátor schopný uschovat se nazývá kapacita. Kapacita udává dobu, po kterou je akumulátor schopný dodávat proud [19].

Vlastnosti akumulátorů popisují veličiny jako je měrná energie, která udává dojezd a požadovanou hmotnost akumulátoru. Vztažení měrné energie vzhledem k objemu vede k informaci o prostorové náročnosti akumulátoru. Dále měrný výkon, který souvisí se zrychlením a maximální rychlostí vozu.

Doba nabití se pohybuje řádově v hodinách. Urychlení nabíjení se dá docílit metodou Minit Charger. Ta spočívá v nabíjení vysokým proudem v krátkodobých pulzech. Životnost akumulátoru je ovlivněna způsobem nabíjení a vybíjení. Dále také údržbou a počtem motohodin bez záměny akumulátoru. Pořízení nového akumulátoru je ovlivněno vysokou pořizovací cenou. A v neposlední řadě otázkou recyklace [5].

Typy akumulátorů u hybridních vozidel jsou stejné jako u elektrických vozidel. Ale oproti elektrickým vozidlům nejsou tak náročné na poskytování energie. Elektromotor funguje pouze jako přídatný pohon, vybíjeny a nabíjeny jsou pouze částečně [10].

**Olověný akumulátor** byl vynalezen už v roce 1859 a s různými změnami a vylepšením technologie přetrval až dodnes. Jeho výhodou je nízká cena oproti novějším akumulátorům a jeho dlouhodobá ověřená funkčnost. Naproti tomu jeho rozměry a hmotnost nesplňují dnešní požadavky a jeho použití se redukuje převážně na startování spalovacího motoru. Obsahuje těžké kovy, které jsou toxické a jeho nesprávná likvidace může být nebezpečná pro životní prostředí [28].

**Nikl-kadmiový akumulátor** je vyráběn jako bezúdržbový, hermeticky uzavřený galvanický článek. Prvky, nikl a kadmium umožňují hluboké vybití baterie a taky velmi rychlé nabíjení. Pokud bychom pohon nechali jen na elektromotoru tak by doba dodávky proudu byla o 50 % větší než s olověným akumulátorem shodné hmotnosti. Nevýhodou je že akumulátor je citlivý na paměťový efekt. K němu dojde, pokud baterie není pravidelně silně vybíjena, což je limitující pro životnost a použití u hybridních vozidel, kde je akumulátor vybíjen neúplně [10].

**Nikl-metalhydridový akumulátor** využívá místo aktivního prvku kadmia, vodík pohlcující elektrodu. Elektroda je vyrobena z hydridu kovu obvykle slitin lanthanu a vzácných kovů. Má až dvojnásobnou kapacitu a vyšší energetickou hustotu ve srovnání s kadmiovým. Dobrou vlastností je rychlé nabití v závislosti na kapacitě. Šetrné k životnímu prostředí a při 100% vybití dokáže vydržet až 3000 cyklů. Při nižších hloubkách vybití lze očekávat životnost převyšující 350 000 cyklů. Je choulostivý na přebití, což způsobuje zhoršení kapacity a vysokou rychlost samovybíjení [28].

**Lithium-železo-fosfátový akumulátor** je velmi perspektivní a technologicky vyspělou konkurencí olověných akumulátorů. Oproti olověnému akumulátoru netrpí sulfatací, což je tvorba nerozpustného síranu olovnatého, která zkracuje životnost a snižuje kapacitu. Příčinou vzniku sulfatace je dlouhodobé nepoužívání akumulátoru a nedobíjení akumulátoru do plného stavu. Životnost akumulátorů může dosáhnout až 8000 nabíjecích cyklů [29]. Akumulátor využila společnost John Deere pro podporu elektromobility v zemědělství. Koncept se nazývá „Battery Boost“ a jedná se o plug-in hybridní systém. Akumulátor je připojen k polo-elektrickému traktoru John Deere 6RE s možností dodávat elektrickou energii připojenému nářadí nebo traktoru, a poskytovat výkon nad 100 kW. Hlavními výhodami systému jsou úspory paliva při zvýšení výkonu a snadné připojení. Akumulátor se totiž nenachází pod kapotou, ale je umístěn vpředu traktoru, místo závaží. Nabíjen je externě [30].



*Obr. 18 Akumulátor místo závaží [30]*

**Lithium-iontový akumulátor** obsahuje lithium které je jedním z nejreaktivnějších kovů s vysokým elektrickým potenciálem. To dává lithiu schopnost dosáhnout vysokých energetických a výkonových hustot v aplikacích využívající značný výkon akumulátoru. Nenachází se u něj paměťový efekt, životnost se pohybuje rovněž kolem 3000 cyklů. Nízká hmotnost a téměř žádné samovybíjení. Hrozí zde nebezpečí výbuchu, pokud dojde k nesprávnému zacházení. Nevýhodou je stále vysoká cena [28].

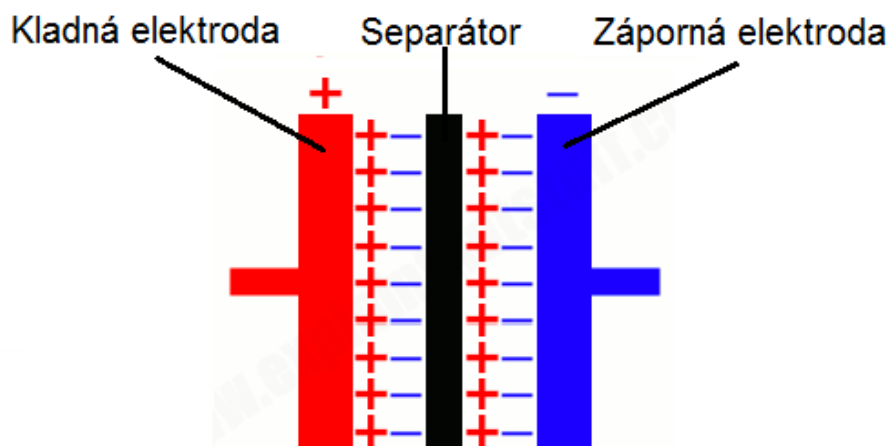


#### 4.3.2 VYSOKO ENERGETICKÝ KONDENZÁTOR-SUPERKONDENZÁTOR

Superkondenzátor je elektrochemické zařízení, které akumuluje energii na základně oddělení náboje. Superkondenzátory jsou známy pod pojmy superkapacitory a ultrakapacitory. Takovéto označení „ultra“ a „super“ značí, že mají mnohem vyšší úroveň kapacity než běžné kondenzátory [31].

Superkondenzátor se skládá ze dvou desek, které jsou odděleny. Desky jsou vyrobeny z kovu potaženého porézní vrstvou, například aktivním uhlím. Je to z důvodu absorpce většího množství náboje. Desky jsou ponořené do elektrolytu a separovány tenkým izolátorem z papíru, uhlíku nebo plastu. Nabité desky vytvoří na obou stranách separátoru opačný náboj, elektrickou dvojvrstvu. Kapacitu lze zvyšovat zvětšením ploch desek, anebo zmenšováním vzdálenosti mezi deskami.

Použití superkondenzátoru v konstrukci hybridních vozidel je běžnou aplikací. Používají se v kombinaci s akumulátory. Zařízení je určeno pro uchování dostatečného množství energie pro krátkou dobu. Zejména při rekuperativním brzdění je energie uložena a následně použita při akceleraci. Superkondenzátor je konstruován na časté nabíjení a vybíjení čímž šetří životnost akumulátoru [32].



Obr. 19 Schéma superkondenzátoru [32]

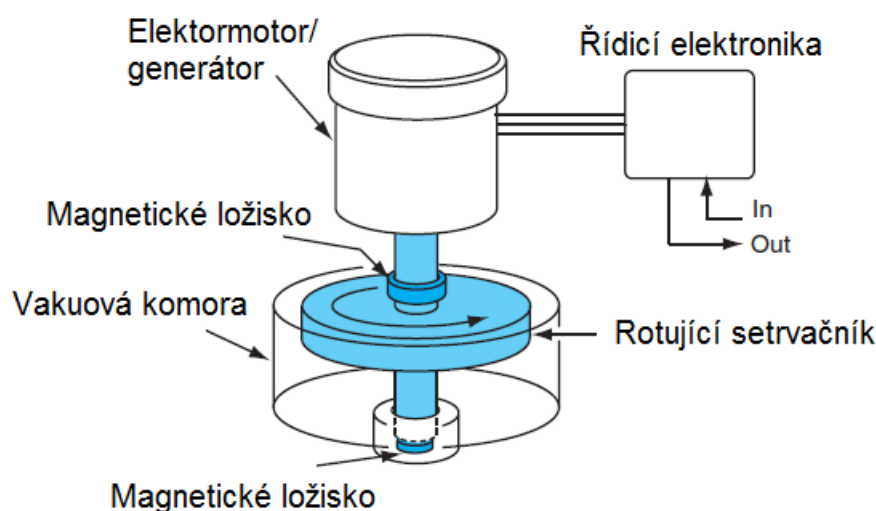
#### 4.3.3 HYDROSTATICKÝ AKUMULÁTOR ENERGIE

Je to metoda rekuperace brzděné energie pomocí hydromotoru umístěným ve vozidle. Pro použití této metody je třeba vozidlo vybavit komponenty, jako je vysokotlaký olejový zásobník, nízkotlaký olejový zásobník, řídicí elektronika a přepínací ventily. Hydromotor se při brzdění chová jako hydrogenerátor. Do vysokotlakého zásobníku je stlačena kapalina, která při rozjezdu uvolňuje tlak, čímž roztáčí hydromotor a dopomáhá k rozjezdu. Použití

takového systému v pracovních vozidlech stále představuje několik defektů. Musí se hledat konstrukční kompromis na úkor velké hmotnosti a objemu hydrostatického akumulátoru [10].

#### 4.3.4 MECHANICKÝ AKUMULÁTOR ENERGIE-SETRVAČNÍK

Setrvačník uchovává mechanickou energii, která je přeměněna generátorem na elektrickou [10]. Je jedním z nejběžnějších systémů skladování mechanické energie u hybridních vozidel. Jeho kapacita je srovnatelná s kapacitou akumulátorů. Nicméně není schopný pojmout dostatečné množství energie na to, aby ji poskytoval po delší dobu. Množství energie, kterou dokáže uchovat závisí na otáčkách, hmotnosti a průměru. Účinnost setrvačníku není ovlivněna teplotou. Není omezen počtem cyklů nabití a vybití. Hřídel se setrvačníkem je uložena na magnetických ložiskách, které dokážou vydržet gyroskopický moment. Je nutné, aby byl setrvačník co nejlépe vyvážen. Často se umísťuje do vakuové komory, aby se eliminovalo tření [19]. Setrvačník může pracovat dvěma směry. Elektromotor v režimu dobíjení, dokáže otáčet setrvačníkem, který v sobě ukládá kinetickou energii. Naopak při nedostatku energie, setrvačník pohání svou získanou energií elektromotor. Setrvačník nejlépe pracuje při nízkých rychlostech, hlavně při častém zastavování a rozjíždění. Náklady na výrobu setrvačníku jsou menší než náklady na výrobu elektrických akumulátorů, nicméně setrvačník má omezený čas skladování energie. Také určité procento uložené kapacity je vyplýváno samovybíjením. Na Obr. 20 lze vidět základní konstrukci setrvačnického systému [2].

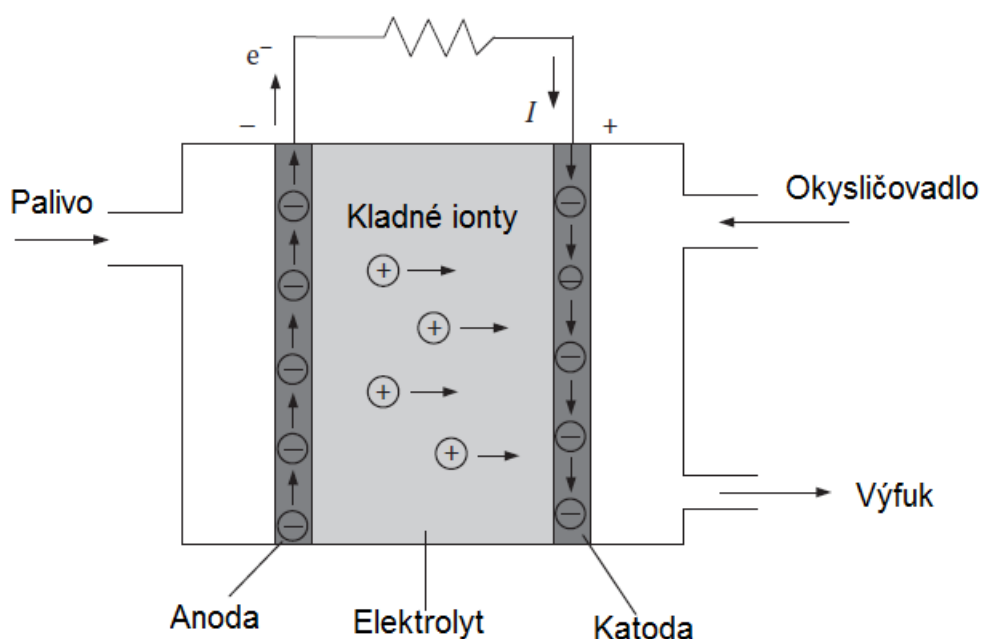


Obr. 20 Základní konstrukce setrvačnickového systému [2]

## 5 HYBRIDY S PALIVOVÝMI ČLÁNKY

Palivové články jsou považovány za jeden z pokročilých zdrojů energie pro aplikace v dopravě. Umožňují zčásti nebo zcela nahradit pístový spalovací motor. Na rozdíl od spalovacího motoru mají palivové články vyšší energetickou účinnost a o mnohem nižší emise. Je to proto, že přímo přeměňují volnou energii v palivu v elektrickou energii, aniž by prošla spalováním [33].

Palivový článek funguje jako elektrochemické zařízení, ve kterém je chemická energie paliva přeměněna na energii elektrickou. Z tohoto hlediska je velmi podobný elektrickým akumulátorům. Palivový článek se skládá ze dvou elektrod a elektrolytu nutného pro vedení iontů z jedné elektrody na druhou. Palivo se přivádí na zápornou elektrodu (anodu), kde oxiduje. Oxidací za přispění katalyzátoru vznikají volné elektrony, které protékají vnějším obvodem ke kladné elektrodě (katodě). Pohyb elektronů, díky potenciálnímu rozdílu mezi elektrodami vytváří elektrický proud. Současně s přívodem paliva se přivádí okysličovadlo na kladnou elektrodu, kde probíhá tzv. redukce. Což je příjem volných elektronů. Vhodným palivem je vodík ve formě plynu nebo kapaliny a okysličovadlem kyslík z okolního vzduchu. Díky kterým je odpadním produktem voda či vodní pára [5].



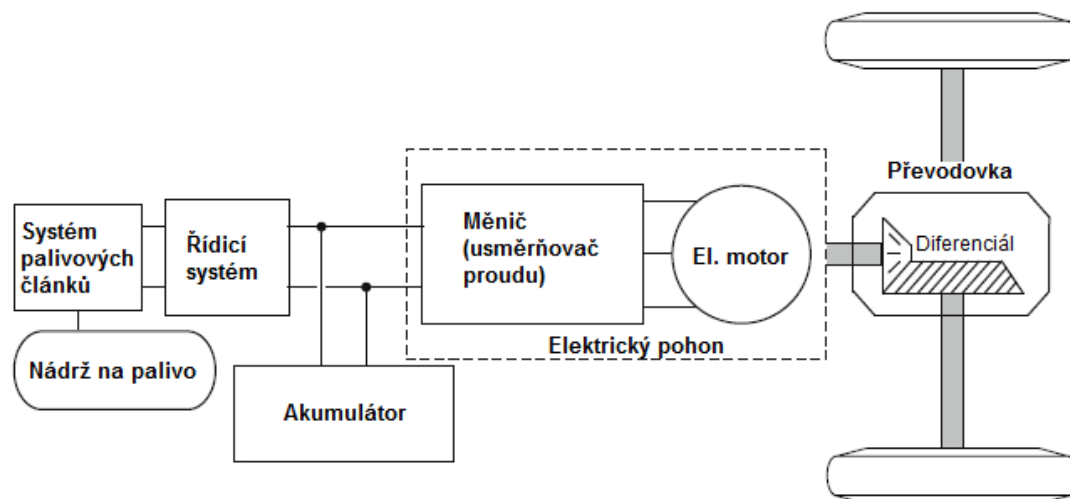
Obr. 21 Schéma palivového článku [33]

Palivové články se liší podle typu elektrolytu, pracovní teploty a materiálu elektrod. Rozdíl je i v chemických reakcích [4].

Tab. 2 Základní přehled palivových článků [4]

Typy palivového článku	Elektrolyt	Pracovní teplota (°C)	Účinnost přeměny (poměr získané elektrické energie/energie obsažené v palivu)
Alkalické články (AFC)	Hydroxid draselný KOH (30-80 %)	60 - 90	50 - 60
Články s tuhými polymery (PEFC)	Tuhý organický polymer	50 - 80	50 - 60
Články s kyselinou fosforečnou (PAFC)	Kyselina fosforečná H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (100 %)	160 - 220	55
Články s roztavenými uhličitany (MCFC)	Směs roztavených uhličitánů	620 - 660	60 - 65
Články s tuhými oxidy (SOFC)	Oxidy vybraných kovů	800 - 1000	55 - 65

Hybridní pohonný agregát poháněný palivovými články má konstrukci jako je znázorněna na Obr. 22. Primárním zdrojem energie jsou palivové články, které dodávají elektromotoru společně s akumulátorem elektrický proud a tím pohání vozidlo.



Obr. 22 Schéma konstrukce s palivovými články [34]

I zde elektromotor funguje jako generátor a část brzdné energie převádí do elektrické. Ta je následně uložena do akumulátoru. Při správné funkci řídicí jednotky a strategii řízení, nebude muset být akumulátor nikdy nabíjen externě. Nabíjení akumulátoru probíhá v situacích, kdy okamžitý výkon vozidla nepřekročí hodnotu jmenovitého výkonu palivových článků. Strategie řízení je přednastavena v řídicím systému. Díky tomu lze zajistit jeho správnou funkci. Mezi správné funkce řídicího systému patří udržování optimální hladiny energie

akumulátoru, a také aby elektromotor pokryl potřebný výkon vozidla. A v poslední řadě, aby systém palivových článků pracoval ve své optimální provozní oblasti [33].

## **Vodík**

Díky své atomové struktuře obsahuje vodík spoustu energie. Vodík je nejlehčím a nejhojnějším prvkem na Zemi. Bohužel nachází se jen ve formě sloučeniny. Je bezbarvý a bez zápachu [19]. Používá se jako jedno z paliv palivových článků. Musí však být ve vysoké čistotě. Lze ho získat elektrolýzou vody, zplynováním uhlí, parním reformováním nebo parciální oxidací zemního plynu [4]. Firma New Holland předpokládá v tomto ohledu koncept nezávislé farmy. Ta by si vodík vyráběla z obnovitelných zdrojů, za pomoci obnovitelné energie, vodní, větrné, sluneční. Díky tomu by se získala elektřina potřebná pro elektrolýzu vody. Je to způsob výroby energie nezatěžující životní prostředí. Vodík by se dal získat i z biomasy, ale za přispění energie. Zemědělci představují skupinu, která by se měla nejsnáze přizpůsobit z hlediska energetické nezávislosti [35].

Palivem palivových článků nemusí být nutně vodík, ale mohou jimi být plynné, kapalné i tuhé látky. Například oxid uhličitý, hydrazin. Ve formě kapaliny methan a z pevných látek například sodík a hořčík. Stejně tak okysličovadlem mohou být tři formy skupenství. Za plynné látky zmiňovaný kyslík nebo chlor, a za kapalné a pevné látky oxid rtuťnatý a další [5].

## **Zhodnocení pohonu s palivovými články**

### **Výhody:**

- Při použití vodíku klesnou emise na nulu, odpadním produktem je jen voda nebo vodní pára.
- Zjednodušení konstrukce traktoru. Možnost vynechání převodovky. Její funkci převezme elektromotor.
- Tichý provoz palivových článků. Kabina traktoru nemusí být nijak zvláště odhlučněna.

### **Nevýhody:**

- V současnosti se 90 % vodíku vyrábí parním reformováním zemního plynu čímž dochází k uvolnění velkého množství emisí do ovzduší.
- Účinnost palivového článku klesá s rostoucím zatížením.

## New Holland NH2

Firma New Holland představila v roce 2009 na mezinárodním veletrhu SIMA v Paříži traktor poháněný palivovými články [10]. Jeho konstrukce je založena na modelu T6000. Z tohoto modelu byla ponechána kabina, nápravy a tříbodový závěs. Spalovací motor byl nahrazen za tlakový zásobník na vodík, pod nímž se nachází tři palivové články typu PEMFC. Traktor je dále vybaven elektromotory a lithium-iontovými akumulátory. Palivové články mají dohromady výkon až 74 kW. Ten slouží pro pohon dvou elektromotorů, z nichž jeden slouží pro trakci traktoru a druhý zajišťuje pohon PTO a hydrogenerátorů hydrauliky. Na jednu nádrž vodíku by měl být schopný pracovat 1,5 až 2 hodiny [4].



*Obr. 23 New Holland - traktor na vodík [36]*

## 6 ZHODNOCENÍ

Hybridní technologie se zavádí, aby eliminovala emise a spotřebu paliva. Otázkou je, zda se tato technologie vyplatí po ekonomické stránce.

### 6.1 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomické hledisko popisuje všechny náklady spojené s provozováním traktoru. Dobrá investice je taková, která do pěti let vrátí původní cenu stroje. Jsou prováděny výzkumy, zda se hybridní technologie přes svou počáteční investici v traktorech vyplatí.

Hybridní traktory jsou v dnešní době převážně prototypy. S jejich sériovou výrobou se počítá až v následujících letech. Kvůli nákladnému vývoji hybridních traktorů si firmy pečlivě hlídají a zatajují své technologie na výrobu. Tudíž zjistit jen cenu hybridních traktorů, ať už se jedná o prototypy nebo se s nimi počítá v sériové výrobě, je velmi složité. Nicméně na stránkách běloruské firmy MTZ je uvedeno, že předpokládaná cena hybridního traktoru MTZ 3623 bude v přepočtu 6 855 000 Kč. Což je o 1 800 000 Kč více, ve srovnání s jejich nabízeným, o 75 koní silnějším, dieselovým traktorem MTZ Kirovets [37].

Důvodem, proč jsou hybridní traktory dražší než konvenční traktory, je cena komponent navíc. Jsou to elektromotory, generátory, zásobníky energie, řídicí jednotky a další nezbytně nutné komponenty hybridního pohonu. Vzhledem k prvotní investici do hybridního traktoru i když jde jen o dodatečné vybavení konvenčního traktoru, mají diesel-elektrické traktory řadu výhod. Jednou z nich je spotřeba paliva. Každopádně záleží na druhu použití traktoru. Pokud traktor nebude dlouhodobě zatěžován tak je zde předpoklad, že hybridní pohonné ústrojí vrátí až 50 % nákladů spojené s nákupem paliv. Další výhodou by měla být produktivita. Některé zdroje tvrdí, že by měla být zvýšena až o 10 % vzhledem ke klasickým dieselovým traktorům. Dále je prokazatelně dokázáno, že elektromotory snižují poškození plodin. Hlavní výhodou elektromotorů je eliminace mechanických pohyblivých částí jako jsou hřídele, spojky, převodovky a diferenciály. Díky tomu snižují náklady spojené s opravami a údržbou. Navíc elektromotory dosahují životnosti 30 000 až 50 000 hodin [38].

Co se týče spalovacích motorů, není zde potřebná další infrastruktura. Motory spalují běžně dostupná motorová paliva. Pokud se nebudeme bavit o alternativních palivech, jakým je například vodík [39]. Získávání vodíku je i v dnešní době velmi nákladné. A nemůže mít větší účinnost než klasické uspořádání konvenčního pohonu. To proto, že je třeba vzít v úvahu celý řetězec výroby vodíku přes uskladnění a čerpání až po finální spotřebu [5].

V následující tabulce jsou porovnány vybrané funkce diesel-elektrického hybridního systému, které mají podíl na celkové účinnosti systému.

Tab. 3 *Ekonomie spotřeby paliva a zhodnocení vybraných funkcí diesel-elektrických hybridů [19]*

	Ekonomie spotřeby paliva				Jízdní vlastnosti	
	Využití systému stop-start	Schopnost obnovy (rekuperace) energie	Efektivní řízení provozu	Celková účinnost	Odezva na poptávku výkonu	Nepřetržitá dodávka vysokého výkonu
Sériový	●	◎	●	●	○	○
Paralelní	●	●	○	●	●	○
Kombinovaný	◎	◎	◎	◎	●	●

◎ Vynikající   ● Dobrý   ○ Nepříznivý

## 6.2 ZHODNOCENÍ Z HLEDISKA EMISÍ

Hybridní technologie pohonu může mít až o 90 % méně emisí než nejčistší vozidla se spalovacím motorem. Pohon elektro hybridů zajišťuje elektromotor, který má nulové emise. Spalovací motor je méně zatěžován než u konvenčních vozidel, tudíž potřebuje méně paliva a produkuje méně znečišťujících látek. V některých případech lze spalovací motor vypnout a vozidlo je provozováno pouze v elektrickém režimu [19]. Při zahrnutí celkového řetězce od výroby všech komponentů až po jejich likvidaci není vhodné nazývat hybridní systém tak čistým. Například při výrobě akumulátorů a při jejich následné likvidaci se uvolní značné množství škodlivých látek [5].

### Strategie snižování emisí.

Na procesu snižování emisí se u spalovacího motoru podílí tři věci, palivo, motor a výfuk. U paliv toho lze docílit pomocí aditiv a rafinačních procesů. Díky tomu lze přizpůsobit jeho složení, aby se snížila tvorba znečišťujících látek. Příkladem, jak snížit emise motoru, je teplota nasávaného vzduchu. Při nasávání teplého vzduchu z pod kapoty, dochází při procesu spalování ke zvýšené tvorbě oxidu dusnatého (NO). Proto je záměrem, aby motor nasával studenější vnější vzduch. Mezi další konstrukční parametry omezující vypouštění škodlivých látek patří například vysokotlaké vstřikování paliva, hliníkové bloky motorů, které dopomáhají lépe chladit. Tvary sacích kanálů, které zlepšují homogenitu směsi paliva a tvary spalovacích komor. Nejúčinnějším způsobem, jak snížit škodlivé emise je následná úprava výfukových plynů. Docílí se toho díky katalyzátoru. Katalyzátory zachytávají škodlivé částice a transformují je na neškodné. Oxidy dusíku jsou redukovány na kyslík a vzduch. Oxid uhelnatý a nespálené uhlovodíky jsou přeměněny na oxid uhličitý a vodu [33].



U hybridních vozidel se pro snížení vypouštění škodlivých látek používá vhodné strategie související s pracovní teplotou spalovacího motoru. Spalovací motor není u hybridního vozidla tolik namáhán a jeho pracovní oblast je provozována v nízkých zatíženích při dosažení suboptimální účinnosti. U paralelních hybridů se dá vyhnout zatížení spalovacího motoru, použitím pouze elektromotoru, při kterém nejsou vypouštěny žádné škodlivé látky do ovzduší. Nicméně potřebná elektřina pro provoz elektromotoru se nedá získat jen díky rekuperaci kinetické energie. Spalovací motor se při nedostatku elektrické energie musí spustit, aby dodával mechanickou energii elektromotoru, který ji následně, jako generátor, přemění v elektrickou. Leč i tady se musí hledat kompromis mezi emisemi a životností trakčního akumulátoru. Protože kvůli vysoké elektrické propustnosti systémem, je akumulátor více zatěžován. U sériového hybridu je tomu o něco lépe. Trakčnímu elektromotoru dodává generátor elektrickou energii kontinuálně, a proto je zde propustnost a cyklování trakčního akumulátoru menší než u paralelního hybridu [15].

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat přehled konstrukčních variant hybridních pohonů používaných v traktorech a zhodnotit je z hlediska emisí a ekonomičnosti provozu. Po uvedení do této problematiky jsme zjistili, že v současnosti existuje pouze část zemědělských strojů využívající tuto technologii. Jedním z důvodů, proč je tomu tak, je obava zemědělců o bezpečnost a trvanlivost technologicky choulostivých komponentů. Traktor je konstruován jako pracovní stroj a není s ním většinou šetrně zacházeno, navíc je často provozován v teple, dešti, bahně a prachu.

V bakalářské práci jsou uvedeny traktory využívající hybridního pohonu. Bylo zjištěno že jsou to všechno prototypy posledních let. S jejich sériovou výrobou se počítá až v následujících letech. Z druhé kapitoly vyplývá že kombinované uspořádání u diesel-elektrických traktorů se jeví jako nejlepší možné. Potlačuje nevýhody sériového a paralelního uspořádání a vyzdvihuje jejich výhody. Nicméně největší perspektivu hybridního pohonu představuje pohon elektromotorem, který je napájen palivovým článkem. Vodík jako palivo představuje dobré vyhlídky do budoucna, avšak ideální bude, až se k jeho výrobě použije obnovitelných energií.

Bylo vyzkoumáno, že i když se hybridní technologie jeví jako přínosná a měla by eliminovat vypouštění škodlivých látek, tudíž být šetrná k životnímu prostředí, tak při výrobě dochází k uvolňování velkého množství emisí do ovzduší, což se jeví jako kontraproduktivní. Také recyklace vyřazených akumulátorů představuje problém, těžké kovy a nebezpečné látky narušují ekosystém.

Z příslušných zdrojů jsme vypožadovali že spousta firem investuje notné prostředky do vývoje nových traktorů a jejich pohonů. Všechny tyto snahy vedou k jednomu cíli, oprost se od využívání fosilních paliv. Z důvodu jejich omezených zásob a kvůli negativnímu dopadu na životní prostředí. Taky kvůli měnícím se cenám, které silně ovlivňují provozní náklady zemědělských strojů. Proto se ozývají ohlasy po udržitelném zemědělství.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HORČÍK, Jan. *Historie hybridních aut*, 1. díl [online]. 30.9.2009 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-1-dil>
- [2] Chris Mi a M. Abul Masrur. *Hybrid Electric Vehicles: Principles and Applications with Practical Perspectives*. 2nd edition. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2017. ISBN 978-1-118-97056-0.
- [3] M.FREDERICK, Austin. *Allis-Chalmers Fuel Cell Tractor* [online]. 28.2.2015 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://theweekendhistorian.com/2015/02/28/allis-chalmers-fuel-cell-tractor/>
- [4] ŠMERDA, Tomáš, Jiří ČUPERA a Martin FAJMAN. *Vznětové motory vozidel: biopaliva, emise, traktory*. Brno: CPress, 2013, 136 stran. ISBN 978-80-264-0160-5.
- [5] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [6] FACCHINETTI, Davide. *Electric traction in agriculture, a perspective issue* [online]. leden 2018 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.mondomacchina.it/en/electric-traction-in-agriculture-perspective-issue-c1954>
- [7] HUSAIN, Iqbal. *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals*. Florida: CRC Press, 2003. ISBN 9780849314667.
- [8] MENIER, Gabriel. *Tractor with Hybrid Power System* [online]. 2017. Dostupné také z: <http://worldwide.espacenet.com/searchResults?DB=EPODOC&compact=false&query=US9637000>
- [9] LI, Hao, Zheng he SONG a Bin XIE. *Plowing Performance Simulation and Analysis for Hybrid Electric Tractor. Applied Mechanics and Materials* [online]. Trans Tech Publications, 2013, 365, 505-511 [cit. 2019-03-03]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.365-366.505. ISSN 1660-9336.
- [10] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [11] FACCHINETTI, Davide. *Electric traction in agriculture, a perspective issue* [online]. leden 2018 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.mondomacchina.it/en/electric-traction-in-agriculture-perspective-issue-c1954>
- [12] SCHMID, Beat. *Mit elektrischem Radantrieb sicher auf die Bergweide* [online]. 12.4.2012 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.eilbote-online.com/artikel/antrieb-mit-elektrischem-radantrieb-sicher-auf-die-bergweide-16239/>

- [13] SOMÀ, Aurelio. *Trends and Hybridization Factor for Heavy-Duty Working Vehicles* [online]. 2017 [cit. 2019-03-20]. DOI: 10.5772/intechopen.68296. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/hybrid-electric-vehicles/trends-and-hybridization-factor-for-heavy-duty-working-vehicles>
- [14] *Trattoriweb: Carraro Ibrido, il prototipo che può segnare la svolta* [online]. 2018 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://trattoriweb.com/carraro-ibrido-il-prototipo-che-puo-segnare-la-svolta/>
- [15] REIF, Konrad. *Fundamentals of Automotive and Engine Technology: Standard Drives, Hybrid Drives, Brakes, Safety Systems*. Friedrichshafen, Germany: Springer Vieweg, 2014. ISBN 978-3-658-03971-4.
- [16] NICE, Karim a Julia LAYTON. *How Hybrid Cars Work: The Power Split Device* [online]. 20.7.2000 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://auto.howstuffworks.com/hybrid-car7.htm>
- [17] DUSIL, Tomáš. *Není hybrid jako hybrid. Čím se jednotlivé systémy liší?* [online]. 15.11.2016 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/neni-hybrid-jako-hybrid-cim-se-jednotlive-systemy-lisi-100314>
- [18] ALLEN, James. *Realization of marketable electric drivetrain concepts for tractors smaller than 100hp* [online]. 10. 5. 2018 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.ivtinternational.com/features/white-paper-realization-of-marketable-electric-drivetrain-concepts-for-tractors-smaller-than-100hp.html#prettyPhoto>
- [19] JACK, Erjavec. *Fuel Cell and other Alternative Power Vehicles. Hybrid, Electric and Fuel-Cell Vehicles*. 2nd Edition. Cengage Learning, 2013. ISBN 978-0-8400-2395-7.
- [20] BÖNNIGHAUSEN, Daniel. *Plug-in-Traktor von John Deere auf der Grünen Woche* [online]. 23.01.2017 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.electrive.net/2017/01/23/gridcon-traktor-von-john-deere-mit-elektrischer-unterstuetzung/>
- [21] PAVLŮSEK, Ondřej. *John Deere SESAM i výkonný traktor může být na elektrinu* [online]. 7. 12. 2016 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/john-deere-sesam-i-vykonny-traktor-muze-byt-na-elektrinu-video-101106>
- [22] DETER, Alfons. *John Deere SESAM-Batterie-Traktor* [online]. 24.02.2017 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.topagrar.com/technik/news/john-deere-sesam-batterie-traktor-9365391.html>
- [23] KOPIER, Michelle. *Will Robots Take Over the Farm?* [online]. 6.2. 2018 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.oemoffhighway.com/electronics/smart-systems/automated-systems/article/20990150/will-robots-take-over-the-farm>
- [24] WOLFGANG, Rudolph a Bad LAUSIC. *Elektroantriebe: Acker unter Strom* [online]. 9.4.2013 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.agrarheute.com/technik/elektroantriebe-acker-strom-456660>

- [25] VILMOS, Varga. *Az elektromos mezőgazdasági traktorok* [online]. 11.8.2018 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://agraragazat.hu/hir/az-elektromos-mezogazdasagi-traktorok>
- [26] BAUER, František, a kolektiv. *Traktory*. Vyd. 1. Praha: Profi Press, 2006. 192 s. ISBN 80-86726-15-0.
- [27] John G. Hayes a G. Abas Goodarzi. *Electric Powertrain: Energy Systems, Power Electronics and Drives for Hybrid, Electric and Fuel Cell Vehicles*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley, 2018. ISBN 1119063647.
- [28] The Electropaedia: *Energy Storage* [online]. Woodbank Communications, 2005 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.mpoweruk.com/>
- [29] DOLEŽEL, Michal. *Lithium-železo-fosfátové akumulátory – budoucnost domácí výroby a spotřeby elektriny* [online]. 25.3.2014 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/lithium-zelezo-fosfatove-akumulatory-budoucnost-domaci-vyroby-a-spotreby-elektriny.aspx>
- [30] Beschaffungsdienst GaLaBau: *Traktor mit elektrischer Unterstützung* [online]. 18.1.2017 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.soll-galabau.de/aktuelle-news/ansicht-aktuelles/datum/2017/01/18/traktor-mit-elektrischer-unterstuetzung.html>
- [31] BADWAL, S.p.s., S.s. GIDDEY, C. MUNNINGS, A.i. BHATT a A.f. HOLLENKAMP. *Emerging electrochemical energy conversion and storage technologies. Frontiers in Chemistry* [online]. Frontiers Media S. A, 2014, 2, <xocs:firstpage xmlns:xocs=""/> [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.3389/fchem.2014.00079. ISSN 22962646.
- [32] WOODFORD, Chriss. *Explainthatstuff: Supercapacitors* [online]. 18.8.2018 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.explainthatstuff.com/how-supercapacitors-work.html>
- [33] EHSANI, Mehrdad, Yimin GAO a Ali EMADI. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Theory, and Design*, Second Edition (Power Electronics and Applications Series). 2nd edition. Florida: CRC Press, 2009. ISBN 9781420053982.
- [34] CORBO, Pascquale, Fortunato MIGLIARDINI a Ottorino VENERI. *Hydrogen Fuel Cells for Road Vehicles*. London: Springer, 2011. ISBN 978-0-85729-135-6.
- [35] STEHNO, Luboš. *Traktor poháněný palivovým článkem* [online]. 13.4.2010 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/traktor-pohaneny-palivovym-clankem/>
- [36] QUICK, Darren. *New Holland's NH2 Hydrogen Fuel cell tractor* [online]. 6.3.2009 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://newatlas.com/new-holland-nh2-hydrogen-powered-tractor/11171/>
- [37] *MTZ Equipment Ltd. and P/A Minsk Tractor Works* [online]. 2015 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.mtzequipment.com/products/tractors>

- [38] JEREV, Benjamin. *Farming technology trends: The hybrid tractors are coming* [online]. 18.7.2016 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://knowhow.napaonline.com/farming-technology-trends-hybrid-tractors-coming/>
- [39] NEEDHAM, Phil. *Feature Articles-ATC: Will Hybrid Tractors Ever Plant Hybrid Seeds?* [online]. 9.2.2010 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.farm-equipment.com/articles/4558-feature-articles---atc-will-hybrid-tractors-ever-plant-hybrid-seeds>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AC	Alternating Current – střídavý proud
AFC	Alkaline Fuel Cells – alkalické články
CVT	Continuously Variable Transmission – plynule měnitelný převodový poměr
DC	Direct Current – stejnosměrný proud
EIMA	Eposizione Internazionale di Macchine Agricoltura – italský veletrh
EWD	Electric Wheel Drive – elektrický pohon kol
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cells – články s roztavenými uhličitany
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cells – články s kyselinou fosforečnou
PEFC	Polymer Electrolyte Fuel Cells – články s tuhými polymery
PTO	Power Take Off – pomocný pohon
SOFC	Solid Oxide Fuel Cells – články s tuhými oxidy
SCR	Selective Catalytic Reduction – selektivní katalytická redukce
SESAM	Sustainable Energy Supply for Agricultural Machinery – německý projekt
SIMA	Salon In Mobilitario Internacional Madrid – veletrh zemědělské techniky